

УДК 621.9:658.5

С.А. Мороз, А.А. Ткачук

Луцький національний технічний університет

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СПАДКОВОСТІ ПІД ЧАС ОБРОБКИ ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ

Розглядається питання впливу попередньої токарної обробки на параметри мікрорельєфу, отримані в результаті поверхневого пластичного деформування. Проведено серію експериментів, для дослідження технологічної спадковості під час зміцнювального оброблення.

Простим та водночас ефективним способом підвищення фізико-механічних властивостей поверхневого шару деталей являється метод поверхневого пластичного деформування (ППД). В процесі реалізації даного способу зміцнення, поверхневий наклеп утворюється за допомогою сферичних або роликподібних інденторів, котрі закріплені у відповідній приспособі, та контактуючих під регламентованим тиском P_y з поверхнею оброблюваної деталі. В результаті тиску на один або декілька інденторів, які контактують із заготовкою, остання пластично деформується. Вершини шорсткості поверхні згладжуються, водночас за рахунок їх зминання відбувається заповнення впадин мікропрофілю. Схема процесу ППД зображена на (рис. 1.)

Оскільки на зображеній поверхні, наявні декілька виступів, то відрізок сферичного радіуса індентора $R_{ПР}$ розглянемо як похилу пряму. В місцях дотику індентора з виступами виникає контактний тиск, що перевищує межу

текучості матеріалу заготовки, внаслідок чого виступи пластично деформуються, зминаються та затікають по обидва боки від контактної зони.

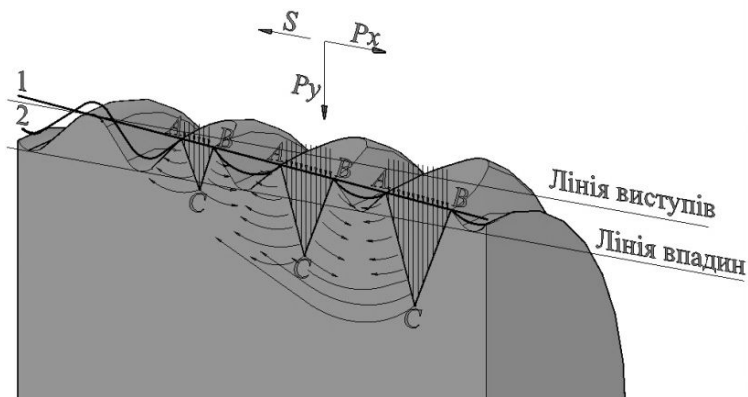


Рис. 1. Механізм процесу вигладжування (1 – твірна індентора; 2 – початковий мікропрофіль)

Як видно з рисунка, в досліджуваній момент часу виступи знаходяться на різних стадіях деформації. Тиск індентора передається матеріалові виступів через контактні зони AB . Останні мають різну довжину, що зумовлено рівним ступенем деформації та формою робочого елемента. Поперечному розтіканню тонкого поверхневого шару, який безпосередньо контактує з дотичною AB перешкоджає тертя, котре виникає в зоні контакту [1]. Воно розповсюджується від поверхні AB в глибину металу (внутрішнє тертя), охоплюючи всю зону ABC , що має клиноподібну форму.

Під контактуючими поверхнями AB утворюються клини зміцненого металу (пластична деформація вершини). Вони володіють підвищеною твердістю та виконують роль «пуансонів», котрі деформують прилягаючий до них метал. Це явище дуже подібне до утворення наросту на передній

поверхні різця в процесі обробки різанням. Цей наріст, як відомо, ріже основний матеріал заготовки. Метал суміжний із сторонами клина *AC* та *BC* тече в напрямку найменшого опору, тобто до вільних поверхонь виступів та їх основи. Поряд із згладжуванням виступів має важливе значення процес текучості металу з глибини до поверхні. Під час цього виступи стовщуються, заповнюючи металом впадини. Процес вигладжування продовжується до тих пір доки стиснений виступ та піднята основа не стануть на одному рівні.

Під час дослідження мікрорізів вигладжених деталей помітно, що поверхневий пластично деформований шар відрізняється від основного металу заготовки. Початковий вплив вигладжуючих елементів на поверхню супроводжується сильним подрібненням зерен металу на блоки (полігонізацією), під час цього виникає так звана мозаїчна структура. У подальшому внаслідок наростаючих зсувів по площинах ковзання зерна значно подрібнюються. При цьому кристали витягуються в напрямку деформації, утворюючи так звану текстуру.

Пластична деформація настільки сильно спотворює кристалічну ґратку металу, що за допомогою мікроструктурного аналізу кристалічну будову поверхневого шару дослідити неможливо. Досліджувати будову металу можна тільки засобами електронної мікроскопії.

Під час зміцнювальних операцій в поверхневому шарі утворюються стискаючі напруження, а в наступному шарі напруження розтягу. Проте внаслідок незначної товщини поверхневого стисненого шару та взаємної рівноваги внутрішніх сил стискаючі напруження значно більші по абсолютній величині й нейтралізують вплив напружень розтягу.

Встановлено, що між глибиною залягання стискаючих напружень та їх величиною існує залежність: чим більше абсолютне значення напружень, тим менша глибина їх залягання, тобто тим більший градієнт напружень [2].

В статті наведено дані по зміцненню робочих поверхонь роликотідшипників вигладжуванням сферичним індентором. Було досліджено три серії підшипників №409. У цій серії підшипників функціональні поверхні зовнішніх та внутрішніх кілець після фінішного оброблення вигладжувались за допомогою сферичного індентора із зусиллям 50Н (1-а серія), 150Н (2-а серія), та 200Н (3-я серія). Вигладжування кілець 1-ї та 2-ї серії виконувалось в два проходи.

Порівняльні дослідження зміцнених та не зміцнених підшипників виконувались при максимальному напруженні (по Герцу) 3255МПа та 3200об/хв. Підшипники випробовувались до моменту появи на робочих поверхнях дефектів втоми. Виявилось, що зносостійкість підшипників 1-ї серії не змінилась, а 2-ї та 3-ї зросла відповідно в 3,9 та 3,3 у порівнянні з не зміцненими підшипниками.

На (рис. 2) показано зміну поверхневої мікротвердості від режимів попередньої обробки. Вигладжування при цьому виконували на однакових режимах. Як видно із наведеного графіка закономірність зміни мікротвердості аналогічна відповідним залежностям після токарної обробки. Зі зростанням швидкості точіння для сталей марки ШХ15 ГОСТ801-78 поверхнева мікротвердість зменшується як під час точіння так і під час вигладжування.

В результаті встановлено, що зусилля при якому досягається максимальна поверхнева мікротвердість, залежить від початкової мікротвердості, й тим вона менша, чим більша початкова мікротвердість.

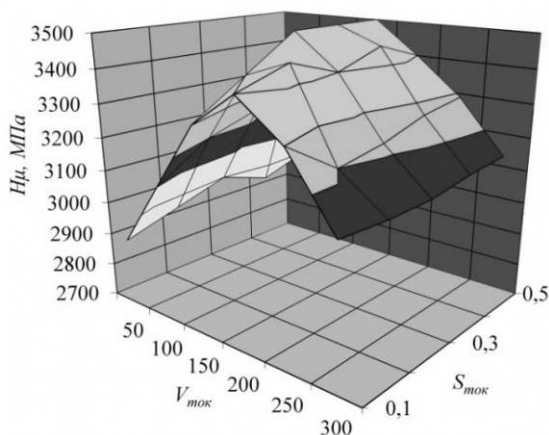


Рис. 2. Залежність мікротвердості поверхні після ППД від режимів попередньої обробки (токарної)

Попередня механічна обробка також має вплив і на максимально можливу мікротвердість отриману в результаті зміцнювальної обробки. При невисокій початковій мікротвердості неможливо досягнути максимального її зростання навіть при дуже високих зусиллях 150...200Н. Загальна зміна мікротвердості в результаті зміни зусилля прикладеного до індентора в досліджуваному діапазоні не перевищує 20...30од. за R_a .

Фізична суть впливу деформуючого зусилля забірного радіуса та діаметра сфери на характеристики зміцнення одна й та ж: в кожному випадку пояснення отриманої якісної залежності слід шукати переважно в зміні величини контактного тиску між індентором та поверхнею яка обробляється.

Зменшення подачі та збільшення числа проходів веде до збільшення кратності прикладеного навантаження, що викликає зміну мікротвердості поверхні під час вигладжування, що залежить від прикладеного тиску. На (рис. 3) поверхня відгуку відображає зміну мікротвердості

H_{μ} в залежності від зміни подачі та прикладеного зусилля. Найкращі результати було отримано в процесі обробки при режимі: $S=0,1\text{мм/об}$; $P=120\text{Н}$, мікротвердість H_{μ} коливалась в межах $3300\dots3350\text{МПа}$. Зниження параметра H_{μ} можна пояснити зменшенням кратності прикладеного навантаження, тобто зменшенням подачі відносно оптимального режиму $S_{\text{виг}} > 0,1\text{мм/об}$, що веде до перенаклепу та зниження твердості поверхні. Збільшення подачі відносно оптимального режиму також веде до падіння показника мікротвердості внаслідок недостатньої кратності прикладеного навантаження на одиницю площі.

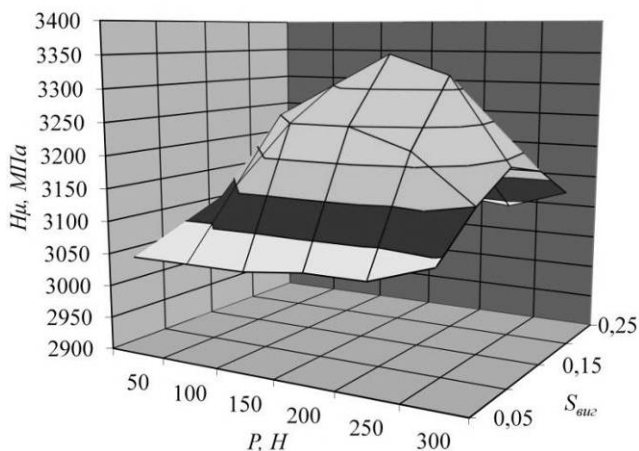


Рис. 3. Залежність мікротвердості поверхні від параметрів деформування (P_y та $S_{\text{виг}}$)

Залежність мікротвердості від параметрів вигладжування виявляється лише при значному діапазоні її зміни, причому закон її зміни аналогічний залежності $H = f(S_{\text{виг}}, P_y)$. При раціональних навантаженнях вигладжування зі збільшенням подачі мікротвердість спочатку збільшується до деякого максимуму ($3300\text{--}3350\text{МПа}$), а для великих значень подач стрімко зменшується.

Проведені дослідження впливу попередньої обробки точінням на утворення залишкових напружень під час ППД дали наступні результати. Розподіл залишкових напружень по глибині було описано за допомогою таких характеристик: глибини залягання стискаючих залишкових напружень h_{σ} , мм; глибини залягання максимальних стискаючих напружень $h_{\sigma_{\max}}$, мм; величини максимальних стискаючих напружень σ_{\max} , МПа; величини залишкових напружень на поверхні зразка σ_{Π} , МПа.

Попередньо зразки були оброблені точінням різцем з переднім кутом γ та радіусом при вершині ρ на трьох режимах:

- I) $V=282\text{м/хв}$, $S=0,05\text{мм/об}$, $t=0,15\text{мм}$, $\gamma=-40^{\circ}$, $\rho=0,2\text{мм}$;
- II) $V=70\text{м/хв}$, $S=0,43\text{мм/об}$, $t=0,15\text{мм}$, $\gamma=+4^{\circ}$, $\rho=0,2\text{мм}$;
- III) $V=282\text{м/хв}$, $S=0,05\text{мм/об}$, $t=0,15\text{мм}$, $\gamma=-40^{\circ}$, $\rho=0,04\text{мм}$.

В результаті зразки мали приблизно однакову величину напруженості σ_{Π} на поверхні та різні епюри напружень по глибині деталі. Зразки кожної серії були вигладжено із зусиллям 50, 150 та 200Н, після чого було досліджено зміну величини h_{σ} , $h_{\sigma_{\max}}$, σ_{\max} , σ_{Π} по мірі збільшення зусилля обробки (рис. 4).

Глибина залягання стискаючих залишкових напружень h_{σ} з підвищенням зусилля в досліджуваних межах постійно зростає, проте швидкість росту при невеликих зусиллях залежить від величини h_{σ} , отриманої на попередній токарній обробці. Причому, чим більше значення h_{σ} , тим менше її збільшення по мірі зростання зусилля P_y . Після деякого значення зусилля ($P_y=120\text{Н}$) зміна h_{σ} не залежить від її вихідної величини.

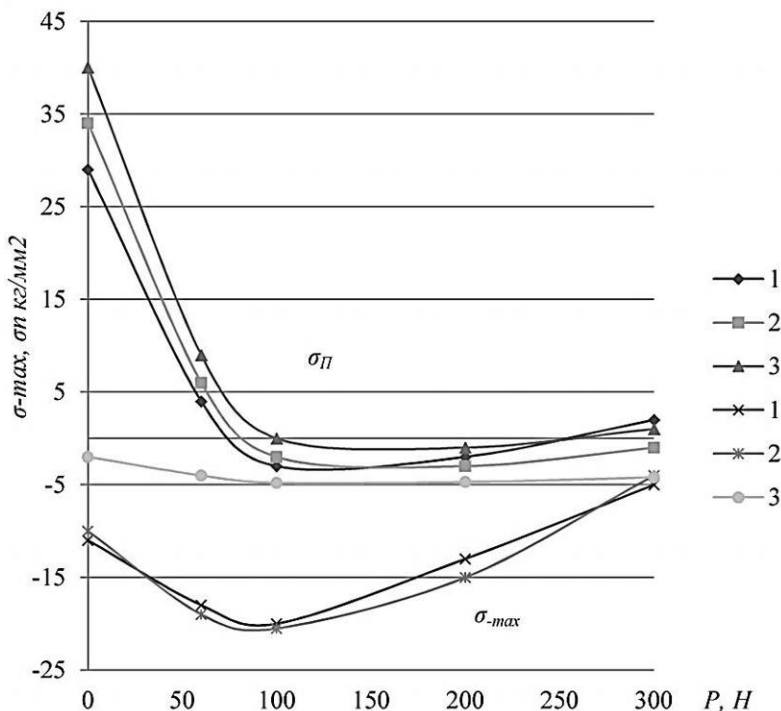


Рис. 4. Залежність величини σ_{max} , $\sigma_{\text{П}}$ та глибини залягання h_{σ} , $h_{\sigma\text{-max}}$ залишкових напружень від попередньої обробки (1 – режим I; 2 – режим II; 3 – режим III) та прикладеного зусилля під час ППД

Зміна глибини залягання максимальних стискаючих напружень $h_{\sigma\text{max}}$ залежить також від початкової величини тільки при невеликих зусиллях. Причому при малому початковому значенні $h_{\sigma\text{max}}$ відбувається її безперервний ріст зі збільшенням зусилля, при великій початковій величині вона знижується до деякого мінімуму, після якого також починається збільшення значення $h_{\sigma\text{max}}$ (рис. 5).

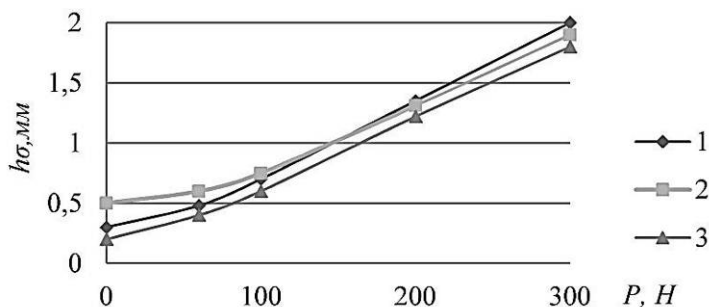


Рис. 5. Залежність глибини залягання залишкових напружень h_{σ} від прикладеного зусилля P_y

Криві залежності максимальних стискаючих напружень σ_{\max} та величини залишкових напружень на поверхні σ_{II} від зусилля P_y носять екстремальний характер (див. рис. 6).

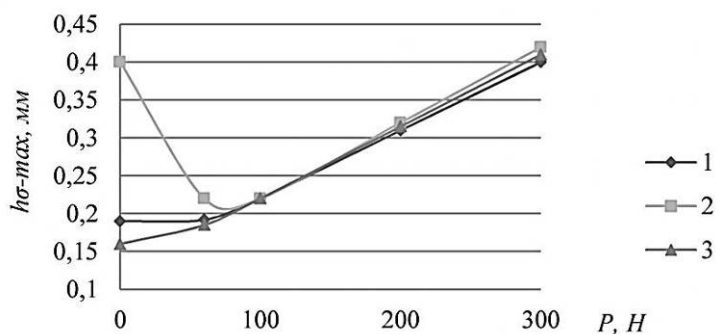


Рис. 6. Залежність глибини залягання максимальних стискаючих напружень $h_{\sigma-\max}$ від прикладеного зусилля P_y

Попередня механічна обробка має вплив при зусиллях $P_y \approx 50 \dots 110 \text{ Н}$, після чого її вплив стає незначним і ним можна знехтувати. Чим менша абсолютна величина стискаючих залишкових напружень перед обробкою ППД, тим менша вона у деталі обробленій вигладжуванням при вказаних вище зусиллях.

Враховуючи, що під час застосування зміцнювальних технологій, котрі забезпечуватимуть регламентовані характеристики шорсткості, зусилля на індентор перевищує $200H$, при якому кінцевий напружений стан визначається тільки умовами процесу деформування, і як наслідок впливом технологічної спадковості на залишкові напруження під час оброблення ППД на досліджуваних режимах можна знехтувати.

Проаналізувавши проведенні дослідження впливу попередніх технологічних операцій обробки на фізико-механічні показники поверхні отриманої в результаті поверхневого пластичного деформування, зроблено наступні висновки: технологічною спадковістю після токарної операції можна знехтувати, при застосуванні раціональних технологічних режимів різання, коли прикладена сила вигладжування повністю змінює поверхневу структуру металу; залишкові напруження, які утворюються в поверхневих шарах під час попередньої обробки повністю змінюють характер і величину та не проявляються в процесі експлуатації готової деталі.

Література:

1. König H. Glattwalzen. «Das Industrieblatt», 1954;
2. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А. Чистовая и упрочняющая обработка поверхностей. Минск, «Высшэйшая школа», 1968.